

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування  
Кафедра екології, технології захисту навколишнього  
середовища та лісового господарства

**05-02-237**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для виконання лабораторних робіт  
з навчальної дисципліни **БІОЛОГІЯ** (модуль 1)  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Екологія» спеціальності  
101 «Екологія» та за освітньо-професійною програмою  
«Технології захисту навколишнього середовища»  
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього  
середовища» денної і заочної форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою з  
якості ННІ агроєкології та  
землеустрою  
протокол № 5 від 10.03.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни *Біологія* (модуль 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Екологія» спеціальності 101 «Екологія» та за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної і заочної форм навчання. [Електронне видання] / Бедункова О.О. – Рівне : НУВГП, 2020. – 52 с.

Укладач: Бедункова О. О., доктор біологічних наук, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Керівник групи забезпечення спеціальності 101 «Екологія»

Бедункова О. О.

Керівник групи забезпечення спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Прищепя А. М.

© Бедункова О. О., 2020  
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2020

## Зміст

Передмова.....	3
<b>Лабораторна робота №1</b>	
Правила роботи з мікроскопом. Методика виготовлення тимчасових препаратів. Будова рослинної і тваринної клітини..	4
<b>Лабораторна робота №2</b>	
Анатомічна будова тканин рослинного організму.....	13
<b>Лабораторна робота №3</b>	
Первинна і вторинна будова кореня.....	23
<b>Лабораторна робота №4</b>	
Визначення інтенсивності транспірації ваговим методом.....	29
<b>Лабораторна робота №5</b>	
Захисні механізми клітин: ферментативне розщеплення перекису водню.....	33
<b>Лабораторна робота №6</b>	
Осмотичні властивості клітини та механізм надходження води в клітину.....	37
<b>Лабораторна робота №7</b>	
Визначення вмісту органічної речовини в листках рослин.....	43
<b>Лабораторна робота №8</b>	
Визначення інтенсивності дихання пророслого насіння в закритій посудині.....	48
Рекомендована література.....	52

## Передмова

Основним напрямком курсу «Біологія» є вивчення принципів організації і функціонування живого світу на рівні молекул, клітин, тканин, органів, систем органів та організмів. У межах першого модуля курсу передбачено отримання знань про характерні особливості морфології, фізіології та екології організмів; будову та функції клітин, їх життєвий цикл; структурні й енергетичні зв'язки організмів, їх взаємовідносини з компонентами навколишнього середовища.

У результаті студенти набувають вмінь визначати та оцінювати складові біологічних процесів і систем; використовувати методи та підходи біологічних досліджень при оцінках стану навколишнього середовища.

Складова практичної підготовки дисципліни Біологія в розрізі змістового модуля 1 сприяє подальшому вивченню студентами природознавчих та екологічних освітніх компонентів, набуттю компетенцій щодо опрацювання джерел біологічної інформації; оцінки пристосування організмів до умов середовища існування; виявлення порушення розвитку організмів внаслідок порушень, спричинених негативною дією факторів навколишнього середовища.

Дані методичні вказівки наводять 8 лабораторних робіт, що містять теоретичну частину та відповідні завдання, а також список рекомендованої літератури.

## **Лабораторна робота №1**

### **Правила роботи з мікроскопом. Методика виготовлення тимчасових препаратів.**

### **Будова рослинної і тваринної клітини**

***Мета роботи:** Ознайомитись з будовою та правилами роботи з мікроскопом. Вивчити будову рослинної і тваринної клітин.*

### **Основні поняття**

#### **Будова мікроскопа**

У кожному світловому мікроскопі розрізняють три основних частини: механічну, освітлювальну та оптичну.

*Механічна частина* мікроскопа складається з штатива, тубуса, revolvera, предметного столика, мікрометричного гвинта (або кремальєри) і мікрометричного гвинта. Штатив складається з масивної підковоподібної ніжки, на якій кріпиться весь мікроскоп і тубосотримач. До тубосотримача прикріплено тубус (зорова труба), який пересувається вгору і вниз за допомогою мікрометричного і мікрометричного гвинтів. До штативу прикріплено предметний столик. У центрі столика є отвір, над яким кладуть предметне скло. Воно фіксується двома затискачами (клемами). Знизу до тубуса рухомо прикріплено revolver-пластинку з трьома-чотирма об'єктивами.

*Освітлювальна частина* мікроскопа складається з дзеркала, конденсора та діафрагми. Дзеркало закріплене рухомо під предметним столиком. З одного боку воно плоске, а з другого – увігнуте. Плоскою і увігнутою поверхнею користуються

залежно від джерела світла і особливостей об'єкта. Конденсор, що знаходиться між предметним столиком і дзеркалом, складається з кількох лінз. Діафрагма закріплена на нижній поверхні конденсора. Промені від джерела світла відбиваються дзеркалом і спрямовуються в конденсор. Лінзи конденсора концентрують світлові промені і спрямовують їх через отвір предметного столика на досліджуваний предмет та в об'єктив. Діафрагма регулює ширину пучка, збільшує або зменшує освітлення предмета.

*Оптична частина* мікроскопа складається з системи лінз, окуляра і об'єктивів. Окуляр встановлений у тубус зверху. На оправі окуляра є цифри, які показують його збільшення (наприклад 7х, 10х, 15х). Об'єктив - це система лінз, вправлених у трубку-гільзу. Об'єктиви закріплені у револьвері. Вони можуть давати від малого (7х, 8х, 10х) до великого (40х, 90х) збільшення. Щоб знати загальне збільшення мікроскопа, слід перемножити цифри, що стоять на оправі окуляра і об'єктива.

#### Правила роботи з мікроскопом

1. Мікроскоп зберігають захищеним від вологи, пилу та світла. При перенесенні мікроскоп беруть правою рукою за колонку штатива, а лівою підтримують знизу.

2. Окуляр, об'єктив, дзеркало протріть серветкою. Поставте мікроскоп перед собою ближче до лівого плеча. Праворуч від мікроскопа покладіть альбом.

3. Вивчення будь-якого об'єкта починають з малого збільшення. Поставте в робоче положення об'єктив малого збільшення (х8). Для цього повертайте револьвер, поки потрібний об'єктив не займе центроване положення (над отвором предметного столика), про що буде свідчити легке клацання спеціального пристрою револьвера.

4. Підніміть за допомогою макрогвинта об'єктив над предметним столиком на висоту 0,5 см. Відкрийте діафрагму і підніміть конденсор.

5. Дивлячись в окуляр (лівим оком), поверніть дзеркало в напрямку до джерела світла, поки поле зору не буде освітлено яскраво і рівномірно.

6. Покладіть на предметний столик препарат з перехрещених волосин накривним скельцем догори, щоб об'єкт знаходився в центрі отвору предметного столика.

7. Потім під контролем зору повільно опустіть тубус за допомогою макрометричного гвинта, щоб об'єкт знаходився на відстані біля 2 мм від препарату.

8. Дивіться в окуляр і одночасно повільно піднімайте тубус за допомогою макрогвинта, поки в полі зору не з'явиться зображення об'єкта. Запам'ятайте, що фокусна відстань для об'єктива малою збільшення дорівнює приблизно 0,5 см.

9. Щоб перейти до розглядання об'єкта при великому збільшенні мікроскопа, необхідно відцентрувати препарат, тобто помістити точку перехрещення волосин точно в центр поля зору. Для цього, дивлячись в окуляр, пересувajte препарат руками, поки він не займе необхідне положення. Якщо об'єкт не буде відцентрований, то при великому збільшенні точка перехрещення волосин залишиться поза полем зору.

10. Поворотом револьвера за годинниковою стрілкою переведіть в робоче положення об'єктив великого збільшення (x40). Опустіть тубус під контролем ока (дивіться, як опускається тубус, не в окуляр, а збоку) майже до препарату. Запам'ятайте, що фокусна відстань для об'єктива великого збільшення дорівнює приблизно 1 мм!

11. Дивлячись в окуляр, повільно (!) піднімайте тубус, поки в полі зору не з'явиться зображення. Застосовуючи мікрометричний гвинт, потрібно одержати контрастне зображення волосин. Мікрометричний гвинт можна повертати не більше, як на півоберта. Якщо не видно зображення волосин під великим збільшенням, це означає, що препарат був не відцентрований або пропущена фокусна відстань. У цьому випадку перейдіть знову до малого збільшення і виконайте пункти 9-11.

12. При малюванні препарату дивіться в окуляр лівим оком, а в альбом - правим.

### Будова рослинної та тваринної клітини

Основними функціональними структурами клітини є її поверхневий комплекс, цитоплазма та ядро.

**Поверхневий комплекс** включає в себе глікокалікс, плазматичну мембрану (цитолему) та кортикальний шар цитоплазми. Неважко помітити, що чіткої межі поверхневого комплексу від цитоплазми немає.

У **цитоплазмі** виділяють гіалоплазму (матрикс, цитозоль), органели і включення.

Основними структурними компонентами **ядра** є каріолема (каріотека), нуклеоплазма та хромосоми; петлі деяких хромосом можуть переплітатись і в цій області утворюється **ядерце**.

Цитолема, каріолема та частина органел утворені біологічними мембранами.

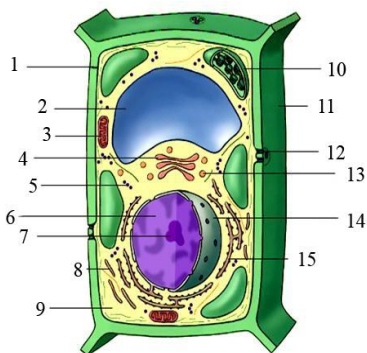
Основними відмінними ознаками рослинної і тваринної клітини є відсутність в тваринній клітині вакуолей, пластид і клітинної стінки (рис. 1.1).

Наявність пластид з хлоропластами і хлорофілом дає можливість рослинній клітині синтезувати органічну речовину (крохмаль) при допомозі процесу фотосинтезу. Тому рослини в основному мають атрофічний спосіб живлення.

**Цитоплазма** - це напіврідка, в'язка, без кольору маса, яка має властивості колоїдного розчину. Основними речовинами, які входять в її склад є колоїдно-органічні сполуки: білки, вуглеводи, жири, ліпіди (жироподібні речовини), РНК, вода і деякі інші речовини.

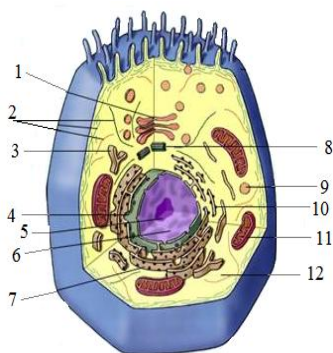
Кількість води в цитоплазмі змінюється на протязі вегетації рослин. Цитоплазма складається з 3-х шарів: плазмолемми – тоненької плівки, яка прилягає до клітинної оболонки; мезоплазми, складаючої основну масу цитоплазми, і на кінець тонопласта – внутрішньої тоненької плівки, яка обтягує вакуоль і регулює обмін речовин між мезоплазмою і клітинним соком вакуолі.

Цитоплазмі властиві фізіологічні функції: живлення, дихання, рух, подразливість, обмін речовин, розмноження. Рухається цитоплазма постійно, але іноді це важко помітити. Вона допомагає переміщенню ряду речовин з однієї клітини в іншу. Важливими властивостями цитоплазми являються: в'язкість і напівпроникність.



Рослинна клітина:

- 1 - клітинна оболонка; 2 - вакуоля;
- 3 - мітохондрії; 4 - апарат Гольджі;
- 5 - рибосоми; 6 - ядро; 7 - ядерце;
- 8 - гладка ендоплазматична сітка;
- 9 - цитоплазма; 10 - хлоропласти;
- 11 - плазматична мембрана;
- 12 - плазмодесми; 13 - лізосоми;
- 14 - оболонка ядра; 15 - гранулярна ендоплазматична сітка.



Тваринна клітина:

- 1 - апарат Гольджі; 2 - цитоскелет;
- 3 - гладка ендоплазматична сітка;
- 4 - оболонка ядра; 5 - ядерце;
- 6 - ядро; 7 - гранулярна ендоплазматична сітка;
- 8 - мікроворсинки; 9 - плазматична мембрана; 10 - центріолі;
- 11 - лізосоми; 12 - рибосоми;
- 13 - мітохондрії; 14 - цитоплазма.

Рис. 1.1. Порівняльна характеристика будови рослинної та тваринної клітини

Колоїди цитоплазми здатні ставати більш в'язкими (гель) і більш рідкими (золь), що допомагає рослині швидко пристосовуватись до змін умов зовнішнього середовища. Висока в'язкість цитоплазми збільшує стійкість рослин до підвищених температур.

### Будова і функції складових частин клітини

**Ядро** - має оболонку з двох мембран, які пронизані ядерними парами і хроматин ( в такій формі розкручені хромосоми знаходяться в інтерфазі). Є ще ядерний сік і ядерце. Розміри його не більше 2-20 мкм.

**Ф у н к ц і ї** – хромосоми містять ДНК, а це речовина спадковості. Ділення ядра лежить в основі розмноження клітин. В ядерці утворюються р и б о с о м и.



*Плазматична мембрана* складається з трьох шарів - в центрі мембрани ліпідний бішар, а по боках білкові шари.

Ф у н к ц і ї - одна з основних властивостей біологічної мембрани - її вибіркова проникність (напівпроникність) - одні речовини проходять через неї важко, інші легко і навіть в бік більшої концентрації. Так, для більшості клітин концентрація іонів  $\text{Na}^+$  всередині клітини значно нижча, ніж у навколишньому середовищі. Для іонів  $\text{K}^+$  характерне протилежне співвідношення: їхня концентрація всередині клітини вища, ніж зовні. Через це іони  $\text{Na}^+$  завжди намагаються проникнути в клітину, а іони  $\text{K}^+$  - вийти назовні. Вирівнюванню концентрацій цих іонів перешкоджає дія особливої системи клітинної мембрани, яка виконує роль насоса, що відкачує іони  $\text{Na}^+$  із клітини і одночасно накачує іони  $\text{K}^+$  всередину (так званий натрій-калієвий насос).

Прагнення іонів до переміщення всередину використовується для транспорту цукрів і амінокислот в клітину. При активному видаленні іонів  $\text{Na}^+$  з клітини створюються умови для надходження глюкози і амінокислот всередину неї.

У багатьох клітин поглинання речовин відбувається також шляхом фагоцитозу і піноцитозу. При фагоцитозі гнучка зовнішня мембрана утворює невеликі заглибини, куди потрапляє захоплювана тверда частинка. Це заглиблення поступово збільшується, стає глибшим, і частинки, які потрапили в неї, занурюються в середину клітини. Явище фагоцитозу властиве амебам і деяким іншим найпростішим, також лейкоцитам (фагоцитам). Аналогічно відбувається поглинання клітинами і рідин, які містять необхідні клітинні речовини. Це явище назване піноцитозом (гр. сл. піно - п'ю, цитос – клітина). Для клітинної мембрани характерна також дифузія – рух газів, наприклад при диханні, осмос – рух води з розчиненими в ній речовинами в клітину, а також екзоцитоз - видалення з вакуолей неперетравлених частин.

*Ендоплазматична сітка* - система мембранних мішечків у вигляді трубочок і пластинок, які утворюють єдине ціле з зовнішньою мембраною ядерної оболонки.

Ф у н к ц і ї. Якщо поверхня ендоплазматичної сітки покрита рибосомами, то її називають шороховатою. На рибосомах синтезується білок, який транспортується по цистернах ендоплазматичної сітки. Гладка ендоплазматична сітка (без рибосом) служить місцем синтезу ліпідів і стероїдів.

*Рибосоми.* Містять білок і РНК (65% всієї РНК клітини) в рівних кількостях. Їх знайшли в мітохондріях і в хлоропластах рослин.

Ф у н к ц і ї. На рибосомах синтезується білок.

*Мітохондрії.* Мають оболонку з двох мембран. Зовнішня мембрана гладенька, а внутрішня утворює складки – кристи. Містять мітохондрії і матрикс, де є рибосоми, одну кільцеву молекулу ДНК і фосфатні гранули.

Ф у н к ц і ї. Мітохондрії – енергетичні станції клітини. Внаслідок дихання відбувається розклад речовин з утворенням енергії. В кристах при аеробному диханні проходить окислювальне фосфорилування і перенос електронів, а в матриксі працюють ферменти, які приймають участь в циклі Кребса (цикл лимонної кислоти) і в окисненні жирних кислот. Синтезується на рибосомах і білок.

*Апарат Гольджі.* Це стопка мембранних мішечків. На одному кінці стопки мішечки безперервно утворюються, а з другого підшнуровуються у вигляді бульбашок.

Ф у н к ц і ї. Транспорт. Клітинні матеріали, наприклад ферменти і ендоплазматична сітка модифікуються в цистернах і транспортуються у бульбашках. Синтез лізосом.

*Лізосоми.* Сферичний мембранний мішечок, який заповнений перетравлювальними ферментами (мембрана одинарна).

Ф у н к ц і ї. Перетравлення поживних речовин і клітинних компонентів, які відслужили свій строк.

*Клітинна стінка.* Жорстка клітинна стінка складається з целюлозних волокон.

Ф у н к ц і ї. Забезпечує механічну опору і захист клітини. Завдяки їй в клітині виникає тургорний тиск, не допускає осмотичного розриву клітини.

*Хлоропласти.* Це велика пластида, що містить в собі хлорофіл. В хлоропластах проходить фотосинтез. В

хлоропластах є оболонка, яка складається з двох мембран. Хлоропласти заповнені строною. В стромі знаходиться система мембран зібраних в стопки(мал.2), які з'єднуються між собою ламетами. В стромі може відкладатися крохмаль, крім того в ній є рибосоми, ДНК і крапельки масла.

*Лейкопласти* – без кольору, хлоропласти – зелені, хромопласти – жовті, червоні і т. д.

**Ф у н к ц і ї.** Фотосинтез з утворенням вуглеводів з води,  $\text{CO}_2$  і сонячної енергії. В хлоропластах сонячна енергія перетворюється в хімічну енергію, тобто енергію хімічних зв'язків.

*Плазмодесми.* Тонка цитоплазматична нитка, що поєднує цитоплазму двох сусідніх клітин через тонку пору в клітинній стінці.

**Ф у н к ц і ї.** Об'єднує протопласти сусідніх клітин в єдину безперервну систему, по якій проходить транспорт речовин між клітинами.

*Вакуолі* - мішок, обтягнутий одинарною мембраною, яку називають тонопластом. У вакуолях знаходиться клітинний сік, де є мінеральні солі, цукри (вуглеводи), пігменти, органічні кислоти і ферменти.

**Ф у н к ц і ї.** Тут зберігаються різноманітні речовини, в тому числі і кінцеві продукти обміну. Від вмісту вакуолей залежать осмотичні властивості клітини. В клітині є ще різні включення.

Таким чином, клітина має цілий комплекс, що допомагає їй функціонувати як єдиному цілому організмові. Ядро – передача спадковості, рибосоми – синтез білка, мітохондрії – енергетичні станції, вакуолі - осмос, хлоропласти – фотосинтез, апарат Гольджі, ендоплазматична сітка – транспорт, лізосоми – перетравлення, плазмодесми – зв'язок між клітинами, плазматична мембрана – обмін між клітиною і середовищем.

### **Хід роботи**

1. У м'ясистій лусочці цибулини з випуклої сторони вирізати в радіальному напрямку невеликий кусочок. Потім препарувальною голочкою або пінцетом відділити кусочок шкірочки в декілька квадратних міліметрів. Нанести на

предметне скельце і виготовити тимчасовий препарат. Спочатку шкірочку цибулини розглядаємо під малим, а потім під великим збільшенням.

Шкірочка цибулини являє собою покривну тканину, яка складається з шару продовгуватих клітин щільно прилягаючих одна до одної. Після розгляду препарату в такому стані, його слід закрасити розчином йоду в йодистому калії. Клітини шкірочки цибулини замальовати.

2. Свіжий листок елодеї або валіснерії треба відірвати і покласти нижньою частиною на предметне скло в краплю води, накрити покривним скельцем. Спочатку препарат розглядають при малому, а потім при великому збільшенні. При великому збільшенні ми можемо розглянути хлорофілові зерна округлої або овальної форми. В краєвих клітинах листка, де мало хлорофілових зерен і вони маленькі, можна розглянути також вакуолю, ядро і цитоплазму.

Клітини з хлорофіловими зернами і органοїдами замальовати.

3. На готових препаратах і таблицях розглянути будову тваринної клітини. Замальовати будову тваринної клітини.

**Для роботи необхідні:** Цибулина. Водна рослина елодея або валіснерія. Розчин йоду. Готові препарати тваринних клітин.

### **Питання для самоконтролю**

1. Назвіть основні складові частини рослинної і тваринної клітини. Яка між ними різниця?
2. З яких елементів складається поверхневий комплекс клітин?
3. Яка будова і які основні фізіологічні функції цитоплазми і клітинної оболонки.
4. Будова і функції ядра.
5. Назвіть основні структурні компоненти ядра.
6. Будова та функції хлоропластів та лейкопластів.
7. Роль мітохондрій і рибосом в клітині.
8. Чим заповнена вакуоля?
9. Назвіть органели та включення цитоплазми.
10. Назвіть мембранні та немембранні органели клітин.

## Лабораторна робота № 2

### Анатомічна будова тканин рослинного організму

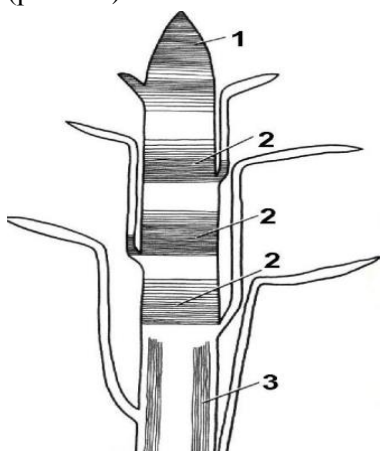
**Мета роботи:** Ознайомитись на готових і приготовлених препаратах з будовою і функціями тканин рослинного організму. Розглянути тканини стебла і листків.

#### Основні поняття

*Тканина* - це сукупність клітин, що мають спільне походження, однакову форму і виконують одну і ту ж саму функцію.

Залежно від виконуваної функції виділяють такі типи тканин: твірна, провідна, механічна, покривна, основні. Покривна, провідна, механічні і основні тканини (постійні тканини) рослини виникають із твірної тканини, клітини якої безперервно діляться і дають початок постійним тканинам.

**1. Твірна тканина** (меристема) складається з живих клітин невеликого розміру з тонкою оболонкою і великим ядром, які щільно прилягають одна до одної без міжклітинних просторів (рис. 2.1).



За розташуванням на рослині розрізняють верхівкові, бокові та вставні твірні тканини. *Верхівковою* (апикальною) називається твірна тканина верхівки стебла (конус наростання), верхівки кореня (зона ділення), верхівок їхніх бокових відгалужень.

*Бічна* - закладається всередині стебла і кореня і зумовлює ріст коренів і стебел в товщину.

Рис. 2.1 Схема розташування меристем: 1 – апікальні меристеми; 2 – інтеркалярні меристеми; 3 – латеральні меристеми.

*Вставна* (інтеркалярна) буває в певних ділянках стебла (наприклад, при основі меживузля злакових рослин). Її клітини забезпечують вставний або інтеркалярний ріст стебла.

За походженням твірні тканини бувають первинними і вторинними.

Первинна твірна тканина зумовлює розвиток проростка і первинний ріст органів. Вторинна твірна тканина виникає з первинної. До неї відноситься, наприклад камбій (рис. 3.1) ділення клітин якого зумовлює ріст стебла і кореня в товщину у дводольних рослин.

**2. Провідна тканина** - тканина, по якій вода та інші речовини переміщуються по рослині. До її складу входять судини (трахеї), трахеїди і ситовидні трубки (рис. 2.2).

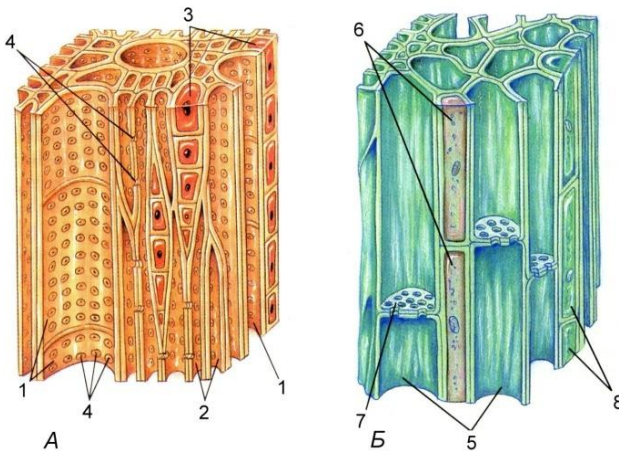


Рис. 2.2 Провідні тканини. А – ксилема; Б - флоема  
1 – судини ксилеми; 2 – трахеїди; 3 – клітини деревної паренхіми; 4 – пори; 5 - ситовидні трубки; 6 – клітини-супутниці; 7 – ситовидні поля; 8 – клітини лубної паренхіми.

*Судини* (трахеї) - це довгі трубки, що формуються з багатьох, розміщених одна над одною клітин, поперечні стінки яких руйнуються. Вони мають товсті стінки, цитоплазма відмирає.

*Трахеїди* - видовжені мертві клітини з косими поперечними перетинками, якими вони з'єднуються одна з одною, утворюючи суцільний ланцюг. Здерев'яніння стінок нерівномірне і має вигляд кілець, спіралей, сіток. По трахеях і трахеїдах здійснюється висхідна течія води і розчинених в ній мінеральних солей від коренів до наземних частин рослин.

*Ситовидні трубки* - видовжені, живі клітини, які з'єднуються між собою за допомогою поперечних перетинок з великою кількістю пор і нагадують сито (ситовидна пластинка). По ситовидних трубках рухаються органічні речовини від листків до кореня. Часто, поряд з ситовидними трубками розташовані клітини- супутники, функції яких в тому, що в них утворюються ферменти, АТФ, інші активні речовини, які мають важливе значення в процесі обміну речовин і транспорту органічних сполук по ситовидних трубках.

**3. Механічна тканина** (рис. 2.3) складається як з живих, так і з мертвих клітин з потовщеними оболонками.

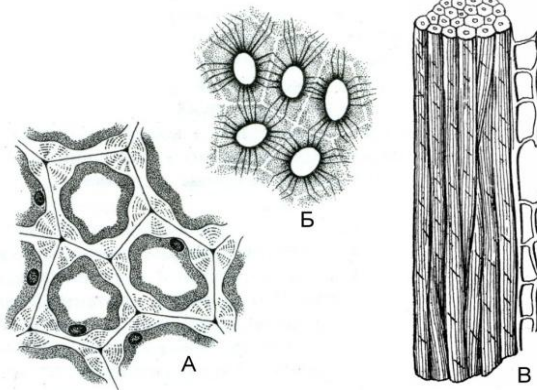


Рис. 2.3 Механічні тканини рослин: А – товстостінні кам'яністі клітини, з яких складається шкаралупа горіхів; Б – клітини коленхіми, з яких складаються опорні тканини гілок та стебел; В – волокна склеренхіми

В рослин часто зустрічаються комплекси провідних клітин і волокон механічної тканини. Ці комплекси називають судинно-волокнистими або провідними пучками (рис. 2.4).

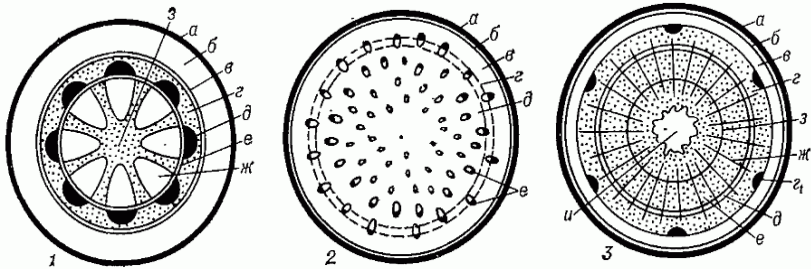


Рис. 2. 4 Анатомічна будова стебла. 1 - первинне: а - епідерма; б - первинна кора; в - ендодерма, г - перецикл; д - флоема; е - камбій; ж - ксилема; з - сердцевина; 2 - вторинне (у однодольних росли): а - пробка; б - фелоген; в - корок; г - поле твірної тканини; д - деревинна паренхіма; е - судинно-волокнисті пучки; 3 - вторинне (у дводольної рослини): а - пробка; б - фелоген; в - фелодерма; г - вторинна флоема; г<sub>1</sub> - первинна флоема; д - камбій; е - ксилема; ж - серцеподібні промені; з - межі між річними кільцями; и - сердцевина

Основними частинами пучка являються: деревина (ксилема) і луб (флоема). Деревина складається з трахей, трахеїд і живих паренхіматичних клітин (деревинних волокон).

Луб (флоема) – складається з ситовидних трубок і луб'яної паренхіми. Навколо цих компонентів пучка розташовуються клітини механічної тканини (склеренхіма), які значно змінюють його.

Провідні пучки виникають в меристематичних зонах із прокамбію (первинної меристеми), який диференціюється із меристеми конусу наростання.

Прокамбій функціонує в рослині не довго. Через деякий час поділ його клітин припиняється і вони або всі перетворюються в елементи ксилеми і флоеми, або між флоемою і ксилемою залишається ряд прокамбіальних клітин, які стають вторинною меристемою – камбієм. Клітини камбію діляться паралельно до поверхні рослини, і пучок може рости за рахунок утворення вторинної флоеми і ксилеми.



Пучки, які мають камбій, називаються відкритими (дводольні рослини), а які його не мають – закритими (одnodольні рослини).

Основними механічними тканинами є коленхіма і склеренхіма. Коленхіма – жива механічна тканина. Вона зустрічається під епідермісом стебел дводольних рослин. Найбільше значення в усіх органах рослин має склеренхіма. Вона складається з мертвих видовжених клітин, які мають товсті і здерев'янілі клітинні стінки.

Склеренхіма в стеблах прядильних культур (льон, коноплі і ін.) називається луб'яними волокнами, які використовуються в текстильній промисловості.

**4. Покривна тканина** - це шкірка (епідерма) і корок. Клітини епідермісу живі, вкривають орган одним шаром, зверху часто вкриті кутикулою або шаром жироподібних речовин і мають волоски.

Базисні епідермальні клітини (рис. 3.5) живі, щільно зімкнені, з центральною вакуолею, заповненою клітинним соком, який містить пігменти антоціан (пелюстки волошки синьої, оплодень смородини чорної, винограду, брусниці, листки традесканції забрини, цикламену), антофеїн, антохлор (віночок льонку звичайного), гесперидин (оплодень апельсина) тощо.

Клітини корку - мертві, утворюють багато шарів не мають міжклітинників, заповнені повітрям або смолянистими чи дубильними речовинами. Виконують основні захисні функції: захист органів від випаровування, висихання, охолодження, різких пошкоджень.

Разом з тим клітини епідермісу забезпечують газообмін (продихи в листках) і всмоктування води з розчиненими в ній речовинами (кореневі волоски в коренях).

**5. Основну тканину** називають *паренхіма*. Основна тканина рослин складається з клітин майже однакового розміру по всіх напрямках. Клітки паренхіми утворюють однорідні скупчення в тілі рослини, заповнюють простори між іншими тканинами, входять до складу провідних і механічних тканин.

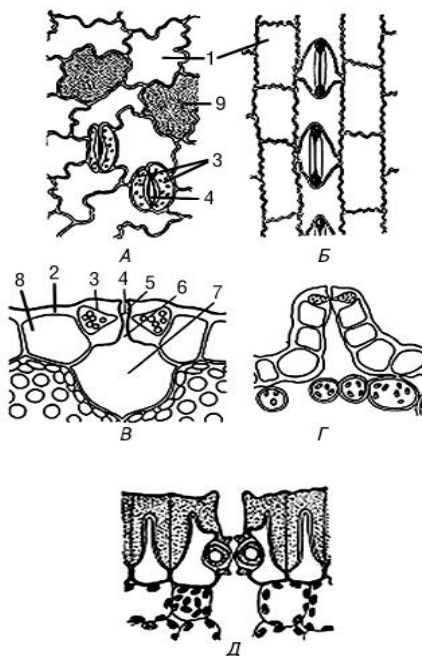


Рис. 2.5 Епідерма у плані (а, б) та на поперечних розрізах (в, з, Д):

- а - фрагмент епідерми дводольної рослини;  
 б - фрагмент епідерми однодольної рослини;  
 в - продиhi не виступають;  
 з - продиhi виступають;  
 д - продиhi занурені;  
 1 - епідермальні клітини;  
 2 - кутикула; 3 - замикальні клітини продиh;  
 4 - продиhова щілина;  
 5 - зовнішній дворик;  
 6 - внутрішній дворик;  
 7 - повітряносна порожнина;  
 8 - побічні клітини;  
 9 - секреторні клітини.

Унаслідок функціональної спеціалізації протопластові клітини паренхіми можуть виконувати асиміляційну, видільну і ін. функції. Присутність в паренхімі міжклітинників визначає її участь в газообміні. Паренхімні клітини, що виконують опорну функцію, можуть бути подовженими, гіллястими, зірчастими, вони мають товсті стінки, що часто одеревіли. Живі паренхімні клітини здібні до ділення; у паренхімі закладається *фелоген* (пробковий камбій), а в рослин з атипичним приростом в товщину - *камбій* (коренеплоди буяка, деякі ліани) (рис. 3.4).

Розрізняють три групи основних тканин: асиміляційну, запасуючу і повітроносну (аеренхіму).

*Асиміляційна тканина* розташовується у всіх зелених частинах рослин. В листку, наприклад вона представлена стовпчастою або палисадною і губчастою або рихлою паренхімою, в яких здійснюється процес фотосинтезу. Клітини

губчастої паренхіми виконують також функції транспірації і газообміну.

*Основна запасаюча тканина* заповнює м'які частини листків, плодів, серцевину стебел та коренів. У її клітинах відкладаються на запас поживні речовини. Наприклад, крохмаль в бульбах картоплі.

*Основна повітроносна тканина* - багата міжклітинними проміжками, які заповнені повітрям (рис.3.5). Міжклітинники, сполучаючись у загальну сітку забезпечують газообмін рослин.

### Тканини стебла

По стеблу рослини проходить рух води, органічних і мінеральних речовин; це орган вегетативного розмноження (смородина, малина і ін.); в стеблі часто запасуються органічні сполуки (капуста, стебла кущів і дерев); в соковитих стеблах тропічних рослин (кактус) запасасться вода, яка використовується в засушливий період року і ін.

В стеблі однодольних рослин (кукурудза) розрізняють тканини:

а) епідерміс - покривна тканина, яка складається з живих клітин, розташованих в один шар. Зовні клітини епідермісу вкриті кутикулою і часто мають волоски;

б) склеренхіма, яка знаходиться під епідермісом і надає стеблу міцності - механічна тканина;

в) паренхіма, яка знаходиться за механічною тканиною і в якій знаходяться судинно-волокнисті пучки – основна тканина;

г) судинно-волокнисті пучки зовні оточені клітинами склеренхіми (механічна тканина), а всередині розміщена провідна тканина - судини деревини (ксилема) і ситовидні трубки луба (флоема).

Судини деревини на поперечному розрізі мають вигляд білих кілець, оточених товстими здерев'янілими стінками.

Ситовидні трубки луба на поперечному розрізі мають вигляд великих багатокутних клітин, між якими розміщені невеликі супроводжуючі клітини (клітини-супутниці), заповнені цитоплазмою оболонки ситовидних трубок і клітин-супутниць нездерев'янілі.

Ріст стебла в однодольних (особливо злакових) вставний або інтеркалярний. Твірна тканина знаходиться в основі меживузлів.

Будова стебла пшениці (соломини) відрізняється від стебла кукурудзи наявністю в ньому порожнини.

В стеблі дводольних рослин (конюшина) на відміну від однодольних, судинно-волоконисті пункти відкриті. Завдяки діяльності пучкового і міжпучкового камбію стебло росте в товщину, відкладаючи назовні елементи флоєми, а в середину - елементи ксилеми.

### Тканини листка

В листку проходить фотосинтез, випаровування води (транспірація) і газообмін. Крім цих основних функцій в результаті адаптацій до різних умов існування листки, видозмінюючись, можуть нагромаджувати поживні речовини (цибуля, капуста), воду (алое), захищати від поїдання тваринами (колючки), здійснювати вегетативне розмноження (бегонія, фіалка), рухати і закріплювати слабкі стебла (вусики гороху, вики) і ін.

В листку розрізняють наступні тканини: живі безколірні клітини шкірочки (епідермісу), які містять цитоплазму і ядро, розташовані одним шаром з потовщеними оболонками складають покривну тканину.

У шкірці знаходяться продихи-щілини, що утворені двома замикаючими або продиховими клітинами. Продихові клітини дрібні, зелені, парні і мають підковоподібну форму. Оболонки цих клітин потовщені нерівномірно: внутрішня, звернена до щілини, товща, ніж протилежна. Зміни тургору продихових клітин змінюють їхню форму, завдяки чому продихова щілина буває відкритою, звуженою або повністю закритою в залежності від умов зовнішнього середовища. Так, вдень продихи відкриті, а вночі в жарку суху погоду - закриті. Роль продихів полягає в регуляції випаровування води рослиною і газообміні з навколишнім середовищем.

Між нижньою і верхньою шкірочками листової пластинки розташовуються м'якоть листка (мезофіл). Під верхньою шкірочкою знаходиться один або декілька шарів

крупних прямокутних клітин, які мають хлоропласти. Це стовпчаста або палісадна перенхіма - *основна асиміляційна тканина*, в якій здійснюється процес фотосинтезу. Під палісадною перенхімою знаходиться кілька шарів клітин неправильної форми з великими міжклітинниками. Ці шари клітин утворюють губчасту або рихлу паренхіму. В клітинах губчастої паренхіми є менше хлоропластів. Вони виконують функції транспірації, газообміну і запасання поживних речовин. М'якоть листка пронизана густою сіткою жилок, судинно-волокнистих пучків, які здійснюють постачання листка водою і розчиненими в ній речовинами, а також виведення із листка асимілянтів. Крім того жилки виконують і механічну роль, оскільки зовні вони оточені склеренхімою - *механічною тканиною*. Будова судинно-волокнистих пучків (*провідна тканина*) основних жилок листка типова, оскільки це є продовження їх із стебла, але в міру подрібнення пучків спостерігається зменшення судин та ситовидних трубок. У найдрібніших розгалуженнях жилок зовсім відсутня флоема, спрощується і ксилема - в ній немає трахей, залишається невелика кількість трахеїд. Закінчуються жилки поодинокими трахеїдами.

## **Хід роботи**

### ***1. Розгляд поперечного розрізу стебла***

Для полегшення вивчення поперечного розрізу стебла зріз закрашують, помістивши його в розчин сірчанокислого аніліну або флороглюцину, від дії якого здерев'янілі частини забарвлюються в жовтий колір.

Розглядаючи препарат під мікроскопом, можна помітити, що стебло зверху вкрите епідермісом, під яким знаходиться механічна тканина - склеренхіма, яка лежить суцільним кільцем. За кільцем механічної тканини лежить основна паренхіма, в якій знаходяться судинно-волокнисті пучки провідної тканини. Біля краю стебла пучки невеликі, а до центру більші і рідші.

Препарат слід розглянути спочатку на малому, а потім при великому збільшенні, замалювавши (схематично) розміщення тканин і судинно-волокнистих пучків стебла.

## ***2. Розгляд поздовжнього розрізу стебла***

Розглядаючи поздовжній розріз стебла ми побачимо ті ж елементи, що і на поперечному розрізі, але тепер не в горизонтальній, а в вертикальній проекції. Зовні видно шар клітин епідермісу, за якими лежать вузькі і довгі склеренхімні клітини з товстими здерев'янілими оболонками. Загострені кінці клітин щільно входять між кінці інших таких же клітин, утворюючи міцну механічну тканину.

Клітини основної тканини мають вигляд довгих циліндричних клітин з цитоплазмою і ядром. До центру стебла розмір їх збільшується.

Судинно-волокнисті пучки складаються з елементів дуже витягнутих в довжину. З зовнішньої сторони пучка видно перерізані товстостінні склеренхімні клітини, а в центрі - вертикальні ряди мертвих довгих клітин без перетинок. В залежності від характеру потовщення поздовжніх стінок розрізняють судини пористі, кільчасті, спіральні і ін.

Ситовидні трубки мають вигляд широких довгих клітин з тонкими нездерев'янілими оболонками. Розглянувши препарат при малому, а потім при великому збільшенні слід замалювати (схематично) розміщення тканин і судинно-волокнистих пучків. По такій же схемі розглядається будова стебла як однодольних, так і дводольних рослин.

## ***3. Розгляд будови листка в поперечному розрізі***

У листовій пластині розрізняють 4 групи тканин:

- 1) покривну - шкірочку або епідерміс;
- 2) основну - поживну (мезофіл);
- 3) провідну - судинно-волокнисті пучки (жили);
- 4) механічну - надає листовій пластині жорсткості і

визначає його розміщення у просторі.

Зробивши поперечний зріз листка рослини, приготувати препарат, розглянути у мікроскоп спочатку при малому, потім при великому збільшенні.

Схематично замалювати розміщення тканин.

#### ***4. Розгляд епідермісу нижньої частини листка традесканції***

З нижньої сторони листка традесканції зрізуємо скальпелем частину епідермісу. Розглянувши епідерміс при малому, а потім при великому збільшенні, слід замалювати клітини епідермісу і продиhi з замикаючими клітинами (рис. 3.5).

**Для роботи необхідні:** Мікроскоп, предметні, покривні скельця, скальпель, препарувальні голки. Розчин флороглюцину або сірчаноокислого аніліну з соляною кислотою. Молоді стебла кукурудзи, пшениці, конюшини витримані в спирті. Готові препарати поперечного і повздовжнього розрізу стебла. Листки кімнатної рослини традесканції і готові препарати поперечного розрізу листка.

#### **Питання для самоконтролю**

1. Чим відрізняються будовою і ростом стебла однодольних і дводольних рослин?
2. Будова судинно-волокнистих пучків однодольних і дводольних рослин.
3. Які основні функції стебла і листків?
4. В чому роль продиhiv і як відбувається їх відкриття і закриття?
5. Яка суть процесу фотосинтезу і яка роль в цьому процесі належить листку?

#### **Лабораторна робота №3**

#### **Первинна і вторинна будова кореня**

**Мета роботи:** *Ознайомитись на готових і приготовлених препаратах з анатомічною будовою і функціями тканин кореня.*

#### **Основні поняття**

**Корінь** - осьовий підземний орган, радіально симетричний. Росте у довжину завдяки поділу і наступному росту клітин верхівкової твірної тканини.

**Функції кореня.** Корінь закріплює рослину в ґрунті, поглинає з неї воду і мінеральні солі, нагромаджує у клітинах запасні речовини, синтезує ряд життєво важливих для рослини сполук (амінокислоти, гормони, вітаміни й ін.) втягує в ґрунт у багаторічних рослин основи пагонів з бруньками відновлення; проводить розчини поживних речовин по провідних тканинах; дає початок (за наявності придаткових бруньок) новим надземним пагонам, які, віддалившись від материнського організму, стають самостійними рослинами. Рух розчинів по судинах у висхідному напрямку забезпечується так званим кореневим тиском, активним нагнітанням розчинів у судини живими клітинами кореня.

**Зони кореня.** Верхівка кореня (конус наростання) захищена чохликом (ковпачком), утвореним декількома шарами клітин. Під ковпачком знаходиться зона поділу; над нею - зона активного росту; тут клітини ростуть, значно збільшуючи свої розміри. Потім вони починають змінюватися (диференціюватися) і набувають вигляду і властивостей, що відповідають тій тканині, до складу якої вони увійдуть. Цю частину кореня називають зоною диференціації. За нею, вище, знаходяться постійні тканини. Це - покривна тканина, або ризодерма, основна і провідна тканини.

Частина клітин ризодерми утворює вирости - кореневі волоски. Завдяки корневим волоскам збільшується всмоктувальна поверхня кореня і зростають його опорні властивості. Ділянка кореня з ризодермою називається зоною всмоктування або зоною корневих волосків. Вище цієї зони покривна всмоктувальна тканина (ризодерма) відмирає і злушується. Однак довжина зони (1-4 мм) не вкорочується, тому що з боку зони диференціації йде її відновлення в міру росту кореня у довжину. За зоною всмоктування, де ризодерма відсутня, захисну функцію виконує зовнішній шар клітин кори - екзодерма. Захисні якості екзодерми підвищуються в результаті окоркування її оболонок; клітини цієї тканини щільно прилягають одна до одної.



За зоною всмоктування розташовані зона галуження (тут відростають бічні корені) і проведення речовин. Між зонами кореня чітких меж немає.

В однодольних така (первинна) будова кореня зберігається на протязі всього життя, а в дводольних проходять вторинні зміни, що полягають в появі між первинною ксилемою і первинною флоємою шару клітин камбію, за рахунок ділення яких корінь потовщується (рис. 3.1).

***Первинна будова кореня.*** Під мікроскопом на поперечному зрізі кореня в зоні всмоктування видно його будову на клітинному і тканинному рівнях. На поверхні кореня - ризодерма, під нею - кора.

Зовнішній шар кори - екзодерма, всередині і від неї - основна паренхіма. Її тонкостінні живі клітини виконують запасачу функцію, проводять розчини поживних речовин у радіальному напрямі - від всмоктувальної тканини до судин деревини. У них же відбувається синтез життєво важливих для рослини органічних речовин.

Проведення речовин у корі здійснюється по симпласту (через протопласт клітин) і по апопласту (по міжклітинниках і оболонках клітин). Внутрішній шар кори - ендодерма. Розчини поживних речовин, що поступають із кори в центральний циліндр, через клітини ендодерми проходять тільки по симпласту. Пройти розчинам по апопласту через ендодерму неможливо через відсутність міжклітинників і наявність в ендодермальних клітинах видозмінених оболонок, що не пропускають розчинів.

Кора оточує центральний циліндр кореня. Вона межує з шаром клітин, які довго зберігають здатність до поділу. Це - перицикл. Клітини перициклу дають початок бічним кореням, додатковим брунькам (вони є, наприклад, на коренях обліпихи, осики, осоту польового, малини) і вторинним твірним тканинам (якщо такі закладаються).

Всередині від перициклу, у центрі кореня, знаходяться провідні тканини: луб і деревина. Разом вони утворюють радіальний (за взаємним розташуванням лубу і деревини) провідний пучок.

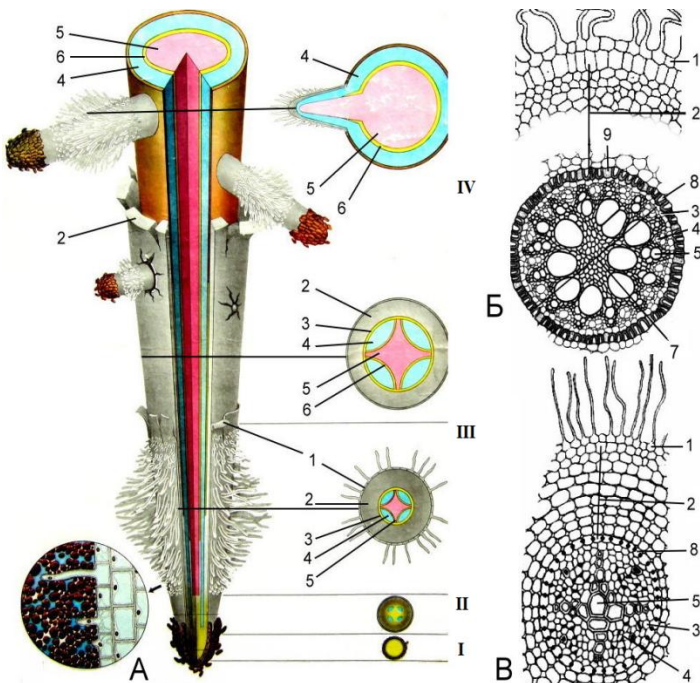
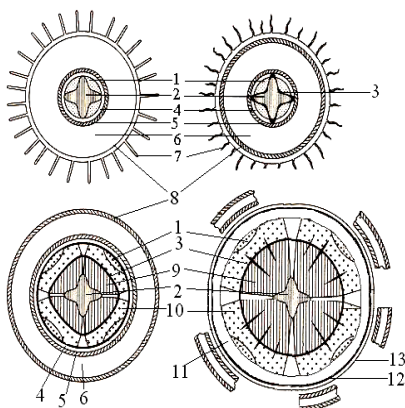


Рис. 3.1. Зони та внутрішня будова кореня: I – зона ділення; II – зона розтягування; III – зона всмоктування; IV – провідна зона. А – первинна і вторинна будова кореня; Б – внутрішня будова кореня однодольної рослини; В – внутрішня будова кореня дводольної рослини. 1 – епідерма; 2 – первинна кора; 3 – перицикл; 4 – флоема; 5 – ксилема; 6 – камбій; 7 – стела; 8 – ендодерма; 9 – пропускні клітини ендодерми.

**Вторинна будова кореня.** У дводольних і голонасінних рослин вже в ранньому віці в центральному циліндрі кореня між ксилою і флоемою з'являється камбій, діяльність якого призводить до вторинних змін і в результаті формується вторинна структура кореня. До центру камбій відкладає клітини *вторинної ксилеми*, а до периферії - клітини *вторинної флоеми*. У результаті діяльності камбію первинна флоема відтісняється назовні, а первинна ксилема залишається в центрі кореня.

Після змін в центральному циліндрі кореня відбуваються зміни в корковій частині. Клітини перициклу починають ділитися по всьому колу, в результаті чого виникає шар клітин вторинної меристеми - *фелогену* (коркового камбію). Фелоген, у свою чергу, ділячись, відкладає назовні фелему, а всередину - фелодерму. Утворюється *перидерма*, корковий шар якої ізолює первинну кору від центрального циліндра. У результаті вся первинна кора відмирає і поступово скидається; зовнішнім шаром кореня стає перидерма. Клітини фелодерми і залишки перициклу надалі розростаються і складають паренхімну зону, яку називають вторинною корою кореня (рис. 4.2).

Рис. 3.2. Перехід від первинної будови кореня до вторинної: 1 – первинна флоема; 2 – первинна ксилема; 3 – камбій; 4 – перицикл; 5 – ендодерма; 6 – мезодерма; 7 – ризодерма; 8 – екзодерма; 9 – вторинна ксилема; 10 – вторинна флоема; 11 – вторинна кора; 12 – фелоген; 13 – фелема.



При розвитку запасуючої паренхіми головного кореня відбувається формування запасуючого коріння або коренеплодів. Розрізняють коренеплоди:

- *монокамбіальні* (редька, морква) - закладається тільки один шар камбію, а запасні речовини можуть накопичуватися або в паренхімі ксилеми (ксілемний тип - редька), або в паренхімі флоєми (флоємний тип - морква);
- *полікамбіальні* - через певні проміжки часу відбувається закладення нового шару камбію (буряк).

### **Хід роботи**

1. За 3-4 дні до виконання лабораторної роботи слід закласти насіння пшениці на пророщування. Для цього можна використати чашки Петрі, на дно якої ложать мокрий фільтрувальний папір або пісок, потім насіння пшениці, яке покривають зверху фільтрувальним папером. Коли появляються корінці довжиною 2-3 см, покриті кореневими волосками, приступають до вивчення кореня під мікроскопом. Для цього відрізають молодий корінець довжиною біля 1 см, кладуть його в краплю води, покривають покривним скельцем і розглядають при малому, а потім при великому збільшенні.

2. Будову кореня замальовати.

3. На готовому препараті розглядають поперечний розріз кореня в зоні всмоктування і замальовують його.

**Для роботи необхідні:** Проростки пшениці з молодими корінцями довжиною 2-3 см. Готовий препарат поперечного розрізу кореня. Мікроскоп. Препарувальні голки, покривні і предметні скельця, скальпель, вода.

### **Питання для самоконтролю**

1. З яких зон складається корінь? Яку функцію виконує кожна з них?
2. Що являє собою кореневий чохлак? Функції і особливості будови.
3. В якій зоні кореня можна спостерігати первинну будову кореня і чому її називають первинною?
4. Що являють собою бар'єрні тканини кореня? Яка їхня будівля?
5. Яка будова провідної зони у однодольних рослин?
6. З чим пов'язаний перехід кореня від первинного до вторинного будовою?
7. З яких комплексів тканин складається корінь з вторинною будовою?

## Практична робота №4

### Визначення інтенсивності транспірації ваговим методом

**Мета роботи:** Ознайомитися з механізмом витрат води рослиною і методом визначення інтенсивності транспірації.

#### Основні поняття

**Транспірація** (від лат. *trans* - через, *spiro* - дихання) - процес випаровування води з поверхні рослин, що відбувається через продихи та кутикулу. Основним органом транспірації є лист. Залежить від температури, вологості, вітру, світла.

Вид транспірації:

- *кутикулярна* (крізь поверхню кутикули, що вкриває епідерміс);
- *продихова* (крізь продихові щілини) (рис. 4.1).

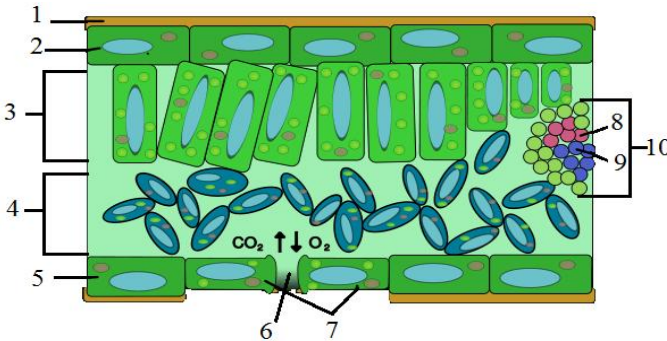


Рис. 4.1 Будова тканин листка в поперечному розрізі: 1 – кутикула; 2 – верхній епідерміс; 3 – палисадна (стовбчаста паренхіма); 4 – губчаста паренхіма; 5 – нижній епідерміс; 6 – продих; 7 – замикаючі клітини продиху; 8 – ксилема; 9 – флоема; 10 – провідний пучок

Кутикулярна значно менша за продихову, але у молодому віці рослина має інтенсивну кутикулярну транспірацію, яка з віком зменшується. У цьому випадку спостерігається прояв біогенетичного закону, що підтверджує водне походження

рослин планети. Тобто, коли рослини ще не мали захисних пристосувань проти висихання.

У результаті втрати води в ході транспірації в клітинах листя зростає смоктальна сила. Це призводить до посилення поглинання клітинами листа води з судин ксилеми і пересуванню води по ксилемі з коріння в листя. Таким чином, верхній кінцевий двигун, який бере участь у транспорті води вгору по рослині, обумовлений транспірацією листя. Рослина транспірує, коли вологість навколишнього повітря нижче, ніж вологість повітря в порах рослинної тканини; у протилежному випадку рослина поглинає водяну пару з повітря. Транспірація відповідає приблизно за 10 % усієї вологи, що випаровується.

**Інтенсивність транспірації** - це кількість води, яку випаровує рослина з одиниці площі листка за одиницю часу. Вимірюється в грамах за 1 год. з  $\text{м}^2$  листової поверхні.

Вона коливається в межах  $15\text{-}250 \text{ г/м}^2/\text{год.}$  вдень і  $1\text{-}20 \text{ г/м}^2/\text{год.}$  вночі.

**Продуктивність транспірації** - це кількість сухої речовини (г) утвореної рослиною при витраті на транспірацію 1 кг води. Вона коливається в межах 1-8 г.

**Коефіцієнт транспірації** - це кількість води (г), яка необхідна рослині для утворення одиниці сухої речовини. Він коливається в межах від 100 до 1000 г.

**Відносна транспірація** - це відношення інтенсивності транспірації з одиниці листової поверхні до швидкості випаровування однакової по величині вільної водної поверхні. Відносна транспірація знаходиться в межах 0,1-0,5. Вона показує, наскільки сильно затримується віддача води листком в порівнянні з випаровуванням з вільної водної поверхні. При високих температурах і низькій відносній вологості повітря відносна транспірація може підніматись майже до 1,0. Це означає, що листок, покритий епідермісом, може випаровувати так само інтенсивно, як і вільна водна поверхня. В інших випадках відносна транспірація може падати до 0,01 і нижче.

За рахунок транспірації рослинні організми пристосовуються до змін зовнішнього середовища.

### Хід роботи

1. В колбу або пляшку наливаємо води.
2. Черешок зрізаного листка повторно відрізаємо під водою на 1 см вище старого зрізу, щоб повітря не попало в судини і швиденько вставляємо черешок листка в пляшку з водою.
3. Шийку пляшки заліплюємо пластиліном, щоб виключити випаровування води з пляшки.
4. Витираємо пляшку і зважуємо її разом з листками на вазі, одночасно засікаючи час початку досліду.
5. Через 50-60 хвилин знову зважуємо пляшку з листком і відмічаємо кінець досліду.
6. Вимірюємо площу дослідного листка:
  - а) листок паперу зважуємо на вазі і вимірюємо його площу ( $\text{см}^2$ );
  - б) на зважений листок кладемо пластинку дослідного листка рослини і обводимо його контур;
  - в) відрізуємо обмежений контур і зважуємо його;
  - г) площу листка вираховуємо по формулі:

$$X = \frac{A \cdot C}{B} (\text{см}^2), \quad (4.1)$$

де  $A$  – площа всього листка паперу ( $\text{см}^2$ );  $B$  – вага всього листка паперу (г);  $C$  – вага вирізки (г).

Інтенсивність транспірації вираховуємо по формулі:

$$T = \frac{(a - b) \cdot 60 \cdot 10000}{(t_1 - t) \cdot X} (\text{г/м}^2/\text{год}), \quad (4.2)$$

де  $a$  – вага пляшки на початку досліду;  $b$  – вага пляшки в кінці досліду; 60 – коефіцієнт перерахунку хвилин в години;  $t$  – час початку досліду;  $t_1$  – час закінчення досліду;  $X$  – площа дослідного листка,  $\text{см}^2$ .

Одночасно з основним дослідом проводимо визначення величини відносної транспірації.

1. Визначаємо площу чашки Петрі ( $\pi R^2$ ).
2. Заповнюємо її водою, зважуємо і відмічаємо час початку досліду.

3. Через 50-60 хв. Зважуємо чашку з водою повторно і відмічаємо час закінчення досліду.

4. Розраховуємо інтенсивність випаровування з відкритої водної поверхні по формулі:

$$M = \frac{(a_1 - b_1) \cdot 60 \cdot 10000}{(t_3 - t_2) \cdot X_1} \text{ (г/м}^2\text{/год)}, \quad (4.3)$$

де  $a_1$  – вага чашки Петрі з водою на початку досліду, (г);  $b_1$  – вага чашки Петрі з водою в кінці досліду, (г);  $t_3$  – час початку досліду;  $t_2$  – час закінчення досліду; 60 – коефіцієнт переводу хвилин в години; 10000 – коефіцієнт переводу  $\text{см}^2$  в  $\text{м}^2$ .

Відносну транспірацію визначаємо по формулі:

$$T_{\text{від.}} = \frac{T}{M}, \quad (4.4)$$

де  $T$  – інтенсивність транспірації;  $M$  – інтенсивність транспірації з відкритої водної поверхні.

**Для роботи необхідні:** Вага з наважками. Пляшка або колба на 150-200 мл. Пластлін. Листок буряка з черешком або іншої рослини. Чашка Петрі. Листок паперу. Ножиці і лінійка.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що називається транспірацією і яка її роль?
2. Що називається інтенсивністю і продуктивністю транспірації?
3. Що називається відотною транспірацією і від чого залежить її величина?
4. Чи змінюється інтенсивність транспірації в рослин різних місць проростання і географічного положення?



## Практична робота №5

### Захисні механізми клітин: ферментативне розщеплення перекису водню

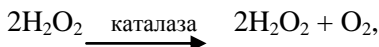
**Мета роботи:** Побачити дію ферменту каталази в рослинних і тваринних тканинах, порівняти ферментативну активність натуральних і зруйнованих в процесі кипіння тканин, показати можливості моделювання ферменту каталази.

### Основні поняття

В результаті окислювально-відновних процесів в клітинах утворюється перекис водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Сполука ця токсична для клітин, так як може викликати самоотруєння (денатурацію білків, зокрема ферментів). Аеробне життя робить можливим система ферментного захисту клітин, яка усуває токсичні ефекти  $\text{O}_2$ .

Так, накопиченню перекису водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) в клітинах перешкоджає фермент каталаза, поширений в клітинах, здатних існувати в кисневій атмосфері.

Каталаза (від грецьк. *καταλύω* - «руйную») - фермент, який розкладає перекис водню, що утворюються у процесі біологічного окиснення, на воду та молекулярний кисень:



а також окислює при наявності перекису водню низькомолекулярні спирти і нітриту, і бере таким чином участь у процесі клітинного дихання.

Каталаза функціонує з дуже великою швидкістю: при  $0^\circ\text{C}$  одна молекула каталази розкладає за 1 с до 40 000 молекул перекису водню. Локалізується каталаза в клітинах (в мікротільцях клітин).

Каталазну активність виявлено у всіх облигатних та факультативних аеробних прокариот.

Перекис водню є і в ґрунті, де його також розкладає фермент каталаза мікроорганізмів. Різні ґрунти мають різну

каталазну активність, що залежить від умов, в яких знаходяться ґрунти (клімат, температура, вологість ґрунту, характер рослинності і т. д.).

Якісною реакцією біологічної активності ґрунту, яка вказує на родючість ґрунту, нарівні з іншими характерними реакціями, є каталазна активність ґрунту, що вказує на здатність ґрунту розкласти перекис водню.

Слід сказати, що фермент каталаза містить в своєму складі органічну сполуку заліза, яка входить в склад гемоглобіну крові. Значить, можна спробувати створити неорганічну модель каталази, підібравши речовини, що будуть її нагадувати, наприклад комплексну сполуку іона міді з аміаком. Моделювання ферментативного каталізу - перспективний шлях розвитку хімічної технології найближчого майбутнього.

## **Хід роботи**

### **1. Ферментативне розщеплення перекису водню рослинними і тваринними клітинами**

1. Приготуйте тимчасовий препарат листка елодеї і розгляньте його при малому збільшенні мікроскопа. З однієї сторони накривного скла капніть піпеткою 1-2 краплі розчину перекису водню, з іншої сторони прикладіть фільтрувальний папір, щоб під накривне скельце попав розчин  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Уважно спостерігайте в мікроскоп, що буде відбуватися, коли клітини елодеї зіткнуться з розчином перекису водню. Поясніть побачене явище.

2. В пробірки положіть по маленькому кусочку (величиною з горошину) сирі і вареної картоплі, сирого і вареного м'яса, сирих і варених легень, сирих і варених нирок і т.д.

В кожену пробірку піпеткою додайте 8-10 крапель розчину перекису водню. Те, що ви спостерігаєте, зафіксуйте в табл.5.1

### **2. Дослідження дії неорганічної моделі каталази**

1. До 0,5 мл розчину сульфату міді ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) долийте декілька крапель розчину перекису водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Що спостерігаєте?

Таблиця 5.1

№ з/п	Об'єкт	Явища, які спостерігаються при дії перекису водню	Пояснення спостережень і висновки
1	Сира картопля		
2	Варена картопля		
3	Сире м'ясо		
4	Варене м'ясо		
5	Сирі легені		
6	Варені легені		
7	Сирі нирки		
8	Варені нирки		

2. В другу пробірку налейте 0,5 мл розчину сульфату міді і додайте 5-10 крапель розчину аміаку. Що свідчить про хімічну реакцію між сульфатом міді і аміаком?

3. В пробірку з тільки що отриманим аміакатом міді прилийте (обережно) декілька крапель перекису водню. Яке явище ви спостерігаєте на цей раз?

4. Дайте пояснення, - що спільного між дією перекису водню каталази і аміакату міді? Чим відрізняється фермент від його неорганічної моделі?

### 3. Визначення каталазної активності ґрунту

Метод визначення каталазної активності ґрунту полягає у встановленні кількості молекулярного кисню, який виділяється при розпаді перекису водню у процесі взаємодії його з ґрунтом (газометричний спосіб). Для цього:

1. Наважку (1г) ґрунту розмішують у колбу з об'ємом 100 мл.

2. На дно колби за допомогою пінцета ставлять маленький стаканчик з 5 мл 3%-го розчину перекису водню. Колбу щільно закривають каучуковим корком із скляною трубкою, яка приєднана до вимірювальної бюретки гумовим шлангом.

3. Початок досліду відмічають за секундоміром у той момент, коли стаканчик з перекисом падає і вміст колби струшують.

4. Кисень, що виділяється, витісняє з бюретки воду, рівень якої відмічають через 0,5; 1; 1,5 та 2 хв. Активність каталази виражають в мілілітрах  $O_2$ , що виділився за 1 хвилину на 1 г ґрунту.

Про екологічний стан досліджуваного ґрунту судять за оціночною шкалою, що наведена у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Шкала для оцінки ступені збагаченості ґрунтів ферментом каталаза

Ступінь збагаченості ґрунтів	Каталаза, $млO_2/г/хв.$
1. Дуже бідна	менше 1
2. Бідна	1 – 3
3. Середня збагаченість	3 – 10
4. Збагачена	10 – 30
5. Дуже збагачена	більше 30

*Примітка:* в різних типах ґрунтів та в різні сезони року ферментативна активність змінюється. Тому для адекватної оцінки екологічного стану досліді проводять в одному часовому просторі та на однорідних типах ґрунтів.

**Для роботи необхідні:** 3% розчин перекису водню або таблетки гідропірититу по 1,5 г, листочки елодеї, мікроскопи, предметні і накривні скельця, кусочки сирих і варених картоплі, м'яса, легень, пробірки, розчини сульфату міді (10% розчин) і аміаку (5-10% розчин), піпетки.

### Питання для самоконтролю

1. Як утворюється перекис водню в клітинах і яка його роль?
2. Що розкладає перекис водню і яке це має значення?
3. Що утворюється при розкладі перекису водню? Написати рівняння реакції.
4. Чому каталазна активність ґрунту являється якісною реакцією біологічної активності ґрунту?
5. Чим відрізняється органічний фермент від його неорганічної моделі.

## Практична робота №6

### Осмотичні властивості клітини та механізм надходження води в клітину

**Мета роботи:** *Ознайомитися з явищами осмосу, потенціального осмотичного і тургорного тиску, плазмолізом і смокたльною силою рослинних клітин і визначити в рослинних клітинах потенціальний осмотичний тиск і смокたльну силу.*

#### Основні поняття

Вибірковість транспорту речовин крізь мембрану вважається однією з ознак життя на клітинному рівні. Дифузію води крізь напівпроникну мембрану із розчину з низькою концентрацією розчиненої речовини до розчину з високою концентрацією розчиненої речовини називають **осмосом**.

Вибірковість транспорту крізь проникну мембрану призводить до виникнення в клітині осмотичних явищ. **Осмотичними** називають явища, що відбуваються в системі з двох розчинів, які розділені напівпроникною мембраною. У рослинній клітині роль напівпроникних плівок виконують: плазмалема - мембрана, що розділяє цитоплазму та зовнішньоклітинне середовище, і тонопласт - мембрана, що розділяє цитоплазму і клітинний сік (вміст вакуолі рослинної клітини).

В вакуолях концентрація клітинного соку завжди більша концентрації ґрунтового розчину, тому вода прямує всередину кореня (в клітину).

Надходження води в вакуолю клітини і збільшення її розмірів призводить до появи гідростатичного тиску її на цитоплазму і оболонку. Цей гідростатичний тиск називають **тургорним тиском** (Т). Таким чином, **тургор** - стан внутрішнього напруження клітини, який обумовлений високим вмістом води та зростаючим тиском вмісту клітини на її оболонку.

Еластично розтягнута тиском клітинного соку оболонка клітини діє в протилежному напрямку на вміст клітини (W), при

цьому тиск оболонки і тургорний тиск завжди рівні, але з протилежними знаками.

Однією з властивостей клітин є їх *тургесцентність*, тобто обмежене розтягування целюлозної оболонки клітини. При надходженні води в клітину вона буде збільшуватись і розтягуватись до якоїсь визначеної межі. Потім при найбільшому об'ємі клітини протилежний тиск розтягнутої оболонки врівноважує внутрішній гідростатичний тиск клітинного соку, і надходження води в клітину припиняється.

Максимально можливий гідростатичний тиск клітинного соку на оболонку при повному насиченні клітини водою називається *потенціальним осмотичним тиском* або *осмотичним потенціалом (P)*.

При повному насиченні клітини водою осмотичний потенціал проявляється у вигляді гідростатичного тургорного тиску, який в свою чергу, врівноважується протилежним тиском розтягнутої клітинної оболонки (W). В такому стані ( $P=T=W$ ), надходження води в клітину припиняється, так як клітинна оболонка розтягнута повністю і розтягуватись далі не може.

Але в наземних рослин внаслідок постійних втрат води на випаровування (транспірацію), клітина майже ніколи не буває в стані повного насичення, тому тургорний тиск не досягає своєї повної величини, тобто T завжди менше P. При такому стані клітина здатна всмоктувати в себе воду і збільшуватись в об'ємі. Чим менше клітина насичена водою, тим більша різниця між P і T, тим з більшою силою клітина може всмоктувати воду.

Таким чином, *смоктальна сила клітини (S)* являється різницею між осмотичним і тургорним тиском ( $S = P - T$ ).

Рух води від однієї клітини до іншої відбувається також внаслідок різниці в смоктальній силі цих клітин. Наприклад, по мірі віддаленості від корневих волосків до провідних судин кореня смоктальна сила клітин послідовно росте, в результаті чого вода рухається по клітинах осмотично від корневих волосків до судин в центрі кореня. Таким же чином рухається вода по клітинах хлорофілонової паренхіми від судин до міжклітинних порожнин листка, де вона випаровується. Але по судинах кореня, стебла і листка вода рухається вже не внаслідок

осмосу, а як по порожніх трубках, підкоряючись законам гідродинаміки. При мінімальному об'ємі клітини її сік не буде тиснути на цитоплазму і оболонку, тургор в ній буде відсутнім ( $T=0$ ), а смоктальна сила - максимальною ( $S=P$ ). При найбільшому об'ємі клітини її оболонка буде гранично розтягнута, клітина воду всмоктувати не може, тургор буде найбільший ( $P-T$ ), а смоктальна сила відсутня ( $S=0$ ). В проміжних станах клітини  $S=P-T$ . Чим менше клітина насичена водою, тим менше її об'єм і тургор і тим більше смоктальна сила.

Якщо осмотичний тиск внутрішнього розчину більший ніж тиск зовнішньої рідини, розчин називають *гіпертонічним*, якщо менший - *гіпотонічним*, якщо рівний - *ізотонічним*. В цьому значенні термін "осмотичний тиск" сміливо можна замінити на "концентрація осмотично активної речовини". При дії на клітину гіпертонічного розчину швидкість дифузії води з клітинного соку буде перевищувати швидкість дифузії води до клітини з зовнішнього розчину. Внаслідок втрат клітиною води об'єм клітинного соку зменшується, тургор понижується. Зменшення об'єму клітинної вакуолі супроводжується відділенням цитоплазми від оболонки. В процесі *плазмолізу* протопласт втрачає воду, зменшується в розмірах та відстає від клітинної стінки. Залежно від в'язкості цитоплазми, від різниці між осмотичним тиском клітини та зовнішнього розчину, а отже, від швидкості та ступені втрат води цитоплазмою розрізняють плазмоліз *випуклий*, *ввігнутий*, *судомний* та *ковпчковий* (рис. 6.1).

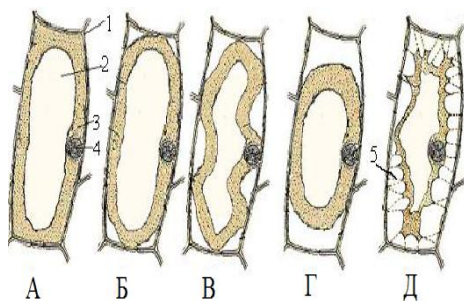


Рис. 6.1. Плазмоліз  
рослинної клітини: А -  
клітина в стані тургору; Б -  
кутовий; В - ввігнутий;  
Г - випуклий; Д -  
судомний; 1 - оболонка; 2 -  
вакуоль; 3 - цитоплазма;  
4 - ядро; 5 - нитки Гехта.

Плазмолізовані

клітини, як правило, лишаються живими, особливо, якщо клітина провела у стані плазмолізу нетривалий час. При розміщенні живої плазмолізованої клітини у воді або гіпотонічному розчині відбувається **деплазмоліз** - клітина повертається у стан тургору та набуває нормального вигляду.

### **Хід роботи**

#### 1. Визначення потенціального осмотичного тиску клітинного соку методом плазмолізу

1. В чашки Петрі налити воду і розчин NaCl різної концентрації по слідуючій схемі: чашка №1 - 0,1н NaCl; №2 - 0,2н NaCl; №3 - 0,3н NaCl; №4 - 0,4н NaCl; №5 - 0,5н NaCl; №6 - 0,6н NaCl; №7 - дистильована вода (H<sub>2</sub>O); №8 - 1н NaCl.

2. В чашки №№ 1-8 покласти по одному листочку елодеї.

3. Підготувати тонкі (мікроскопічні) зрізи кореня столового буряка площею 2 - 4 мм<sup>2</sup> і помістити в чашки №№ 1-6.

4. Через 10-15 хвилин спостерігаємо явище тургору на об'єктах, які були поміщені в чашку №7 (вода) і явище плазмолізу на об'єктах поміщених в чашку №8 (1н NaCl). Листочки елодеї слід розглядати під мікроскопом в тому середовищі, в якому вони знаходились. Для цього листя, яке було у воді, необхідно перенести на предметне скло разом з краплею води, а яке було в 1н NaCl - з краплею розчину 1н NaCl. Потім покрити покривним скельцем і розглядати під мікроскопом.

5. Замалювати в зошит декілька клітин листка елодеї в стані тургору і плазмолізу (рис. 7.1).

6. Через 15-20 хвилин приступаємо до розгляду клітин листка елодеї і зрізів столового буряка в чашках №1 - 6. Розгляд їх під мікроскопом (можна на одному склі) проводимо в краплі того ж розчину, в якому вони знаходились (див. пункт №4). При високих концентраціях розчинів (0,5-0,6н) в клітинах проходить сильний плазмоліз, а при низьких (0,1н) - клітини залишаються без змін. Необхідно знайти таку концентрацію розчину, при якій тільки починається плазмоліз, тобто коли тільки починається слабо помітне відставання протоплазми від оболонки в кутках



клітин. Це буде ізотонічна концентрація розчину, при якій розчин солі має однаковий тиск з осмотичним тиском клітинного соку об'єкту, що розглядається.

Наприклад, слабкий плазмоліз ми побачили при концентрації 0,4н NaCl, а при концентрації 0,3н NaCl плазмолізу не спостерігалось. Значить, ізотонічна концентрація знаходиться між 0,4 і 0,3 і приблизно рівна 0,35.

Спостереження за плазмолізом в елодеї і столового буряка записують в наступній формі:

Концентрація розчину	Плазмоліз		Ізотонічна концентрація	
	елодея	буряк	елодея	буряк
0,1н	немає			
0,2н	немає			
0,3н	немає		0,35	
0,4н	слабкий			
0,5н	сильний			
0,6н	сильний			

7. Вираховують потенціальний осмотичний тиск по формулі:

$$P = \frac{R \cdot T \cdot i}{V} \quad (6.1)$$

де: P - осмотичний тиск, в Па (в паскалях); R - універсальна газова постійна, в системі СІ рівна  $8,31 \cdot 10^3$  Дж/Кмоль; T - абсолютна температура по Кальвіну, рівна  $(273^\circ + t^\circ\text{C})$ , наприклад,  $273 + 17 = 290^\circ\text{K}$  ( $17^\circ\text{C}$  – температура в приміщенні); V - об'єм води (в літрах), в якій треба розчинити грам-молекулу NaCl, щоб отримати ізотонічну концентрацію. Він рівний 1/K (K - ізотонічна концентрація);  $i$  ( $\frac{1}{0,35} = 2,86$ );  $i$  –

ізотонічний коефіцієнт (для NaCl – 1,5)

$$P = \frac{8,3 \cdot 10^3 \cdot (273 + 17) \cdot 1,5}{2,86} \quad (6.2)$$

## 2. Визначення смоктальної сили по зміні довжини смужок рослинної тканини в розчинах різної концентрації

1. Після того, як приготували мікроскопічні зрізи кореня столового буряка і поклали їх в розчини, нарізаємо 8 смужок з кореня столового буряка перерізом 2х2 мм і довжиною 4-5 см. Смужки повинні бути строго однакової довжини. Для цього кожен з них слід покласти на міліметровий папір або лінійку, виміряти їх довжину і відрізати.

2. В дві чашки Петрі (№1-6), куди поклали зрізи столового буряка і листки елодеї, кладемо по смужці кореня столового буряка.

3. Через 25 хвилин витримання смужок в розчинах (чашки №1-6) вимірюємо знову їх довжину, попередньо легенько осушивши їх фільтрувальним папером.

4. Спостереження записуємо в наступній формі:

Концентрація розчину	Довжина смужок (см)	Ізотонічна концентрація
0,1 н	стала довше	
0,2 н	стала довше	
0,3 н	стала коротше	0,25
0,4 н	стала коротше	
0,5 н	стала коротше	
0,6 н	стала коротше	

Необхідно знову знайти ізотонічну концентрацію розчину (концентрація при якій смужка залишалась без змін).

5. Вираховують смоктальну силу клітин кореня столового буряка по формулі:

$$S = \frac{R \cdot T \cdot i}{V} \quad (6.3)$$

де S – смоктальна сила, в Па.

6. Визначити тургорний тиск в коренях столового буряка по формулі:

$$T = P - S \quad (6.4)$$

**Для роботи необхідні:** Мікроскоп, предметні і покривні скельця, скальпель, препарувальна голка. Чашка Петрі – 8 шт. Розчини 0,1н NaCl, 1н NaCl. Дистильована вода. Фільтрувальний папір. Міліметровий папір або лінійка. Листки елодеї і корінь столового буряка.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що таке осмос і потенціальний осмотичний тиск і яка їх роль в механізмі надходження води в клітину і рослину?
2. Що таке тургор і плазмоліз?
3. Яка величина осмотичного тиску в клітинах листка елодеї і кореня столового буряка?
4. Що таке ізотонічний, гіпотонічний і гіпертонічний розчини?
5. Що таке смоктальна сила і як вона залежить від осмотичного тиску і тургору?
6. Наведіть приклади співвідношення між смоктальною силою, осмотичним і тургорним тиском у випадках, коли  $S=0$  і  $T=0$ .
7. В яких випадках в експерименті смужки рослинної тканини будуть скорочуватись, видовжуватись і залишатись без змін?
8. Яка величина (в Па) смоктальної сили і тургору в коренях столового буряка?

### **Лабораторна робота №7**

#### **Визначення вмісту органічної речовини в листках рослин**

**Мета роботи:** *Ознайомитись з фотоколориметричним методом визначення вмісту органічного вуглецю в листках рослин мокрим спалюванням в хромовій суміші по Х.К. Алікову.*

#### **Основні поняття**

**Кінцевий результат фотосинтезу** – відновлення вуглецю з двоокису вуглецю і накопичення його в синтезованих органічних сполуках (рис. 7.1).

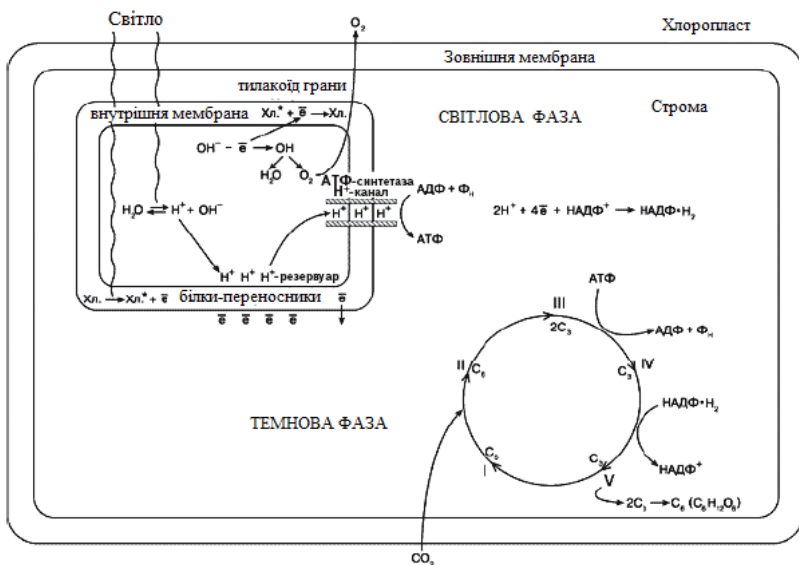


Рис. 7.1. Спрощена схема процесу фотосинтезу

### Світлова фаза фотосинтезу (на мембранах тилакоїдів клітин):

Фотосинтезуючі пігменти поглинають енергію світла, що приводить до “збудження” одного з електронів молекули пігменту, який за допомогою молекул-переносників переміщується на зовнішню поверхню мембрани тилакоїдів.

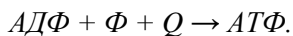
Відбувається фотоліз води:  $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$

Іони  $H^+$  перетворюються на гідроген, який використовується у реакціях фотосинтезу:  $H^+ + e^- \rightarrow H$ .

Гідроксильні йони, взаємодіючи між собою, утворюють кисень, воду й вільні електрони:  $4 OH^- \rightarrow 2H_2O + O_2 + 4e^-$ .

Електрони через ряд проміжних речовин передають енергію для відновлення НАДФ (нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат), який приєднує два атоми гідрогену й перетворюється на НАДФН.

Частина енергії електронів перетворюється на енергію АТФ:



**Темнова фаза (цикл Кальвіна (у стромі хлоропластів)):**

За наявності  $CO_2$ , енергії АТФ та сполук, що утворилися у світлових реакціях, відбувається приєднання гідрогену до  $CO_2$ , який надходить у хлоропласти із зовнішнього середовища. Через ряд послідовних реакцій за участю специфічних ферментів утворюються різноманітні сполуки, основними з яких є вуглеводи.

Під час біохімічних реакцій циклу Кальвіна відбувається фіксація атома Карбону  $CO_2$ , для будови глюкози.

Для синтезу 1 молекули глюкози потрібні 12 молекул НАДФН та 18 молекул АТФ, які утворюються під час фотохімічних реакцій фотосинтезу.

Глюкоза, що утворюється в циклі Кальвіна, потім може розщеплюватись до пірувату і надходити до циклу Кребса.

Оскільки між кількістю утворених органічних сполук і фотосинтезуючою активністю листка існує пряма залежність, то по нагромадженню вуглецю органічної речовини можна судити про **інтенсивність фотосинтезу**.

Суть методу полягає в наступному: з листка кімнатної рослини герані, фіалки або традесканції вирізають свердлом диски визначеної величини і визначають в них вміст органічного вуглецю. Після перебування рослини на світлі на протязі 2-3 год. з тієї ж листової пластинки беруть повторно таке ж число дисків і знову визначають в них вміст органічного вуглецю.

Кількість накопиченого вуглецю органічної речовини знаходять по різниці між вмістом його в кінці і на початку досліду, а потім розраховують на одиницю листової поверхні в одиницю часу ( $mg/dm^2$  за 1 год.).

Аліков Х.К. запропонував визначення засноване на тому, що при окисленні рослинного матеріалу хромовою сумішшю іони  $Cr^{+6}$  відновлюються до іонів  $Cr^{+3}$  синього кольору. Кількість утворених іонів  $Cr^{+3}$  знаходиться в лінійній залежності від вмісту органічного вуглецю, який окислився. Визначення концентрації іонів  $Cr^{+3}$  виконують на фотоелектроколометрії (КФК-2) з жовтим світлофільтром ( $\lambda_{max} = 590$  нм). В цьому

випадку іони  $\text{Cr}^{+6}$  практично не заважають визначенню іонів  $\text{Cr}^{+3}$ .

### **Хід роботи**

1. За допомогою свердла вирізають з листка рослини від 3 до 10 дисків в залежності від того, яка рослина вивчається і поміщають їх в конічну колбу на 100 мл.

2. В колбу з вирізаними дисками приливають 10 мл 0,2н хромової суміші.

3. Реакційну суміш слабо кип'ятять на протязі 5 хв. На піщаній бані.

4. Після повного охолодження розчин з пробірки кількісно переносять дистильованою водою в мірну колбочку на 50 мл, доводять до мітки і добре перемішують.

5. Одночасно готують і контрольне визначення, проливанням в мірну колбочку на 50 мл всіх реактивів з виконанням всіх операцій, крім добавки рослинного матеріалу.

6. Оптичну густину (коефіцієнт пропускання) розчину визначають в кюветі з товщиною шару 10 мм на фотоелектроколориметрі (КФК-2) з світوفільтром 590 нм.

7. Покази приладу переводять у величину концентрації глюкози при допомозі калібровочного графіку.

Для цього в десять пробірок наливають відповідно 0,1; 0,2 і т.д. до 1,0 мл стандартного розчину глюкози і по 10 мл 0,2н хромової суміші, а в одинадцяту - тільки 10 мл 0,2н хромової суміші. Вміст всіх пробірок кип'ятять 5 хв. Після охолодження вміст пробірок переносять в мірні колби на 50 мл, доливають дистильованої води до мітки і колориметрують (світوفільтр 590 нм, кювета 10 мм).

На осі абсцис відкладають концентрацію глюкози (мг на 50 мл), а на осі ординат - відповідно значення оптичної густини (коефіцієнт пропускання). Точки з'єднують і отримують калібровочний графік.

8. Перерахунок органічної речовини на вуглець ( $M_c$ ) або двоокис вуглецю ( $M_{\text{CO}_2}$ ) здійснюють по формулі:

$$M_c = 0,4 M_{\text{гл}} \quad (7/1)$$

$$M_{CO_2} = 1,47 \text{ Мгл} \quad (7.2)$$

де: Мгл - кількість глюкози, яка відповідає вмісту органічної речовини в рослинній пробі, мг; 0,4 і 1,47 - коефіцієнти перерахунку відповідно на вуглець і двоокис вуглецю.

Кількість вуглецю органічної речовини (в мг), яка міститься в листку площею 1 дм<sup>2</sup>, розраховують по формулі:

$$X = \frac{0,4M_{гл} \cdot 100}{S}, \text{ мг/дм}^2/\text{год.} \quad (7.3)$$

де: S – площа вирізки, см<sup>2</sup>; 100 – множник для перерахунку в дм<sup>2</sup>.

Інтенсивність фотосинтезу (мг/дм<sup>2</sup>/год) визначають по різниці між кінцевим і початковим значенням кількості органічної речовини листка.

Результати досліду записують по формі таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Визначення інтенсивності фотосинтезу

Варіант досліду	Тривал. досліду	Площа виріз. дисків	Об'єм розчину, мл	Покази приладу, Т	Вміст глюкози по калібровочному графіку мг/50мл	Вміст вуглецю, мг/дм <sup>2</sup>	Інтенсивн. фотосинтезу, мг/дм <sup>2</sup> /год
1	Початок досліду						
2	Після перебування на світлі 2 год.						

**Для роботи необхідні:** Рослини герані, фіалки, традесканції. Конічні колби на 100 мл. Свердла діаметром 5.....10 мм. Фотоелектроколориметр КФК-2. Мірні колби на 50 мл, лійки. Дозатор на 10 мл або піпетки на 10мл. Піщаний

годинник на 5 хвилин. Піщана баня. Глюкоза, сульфат міді, конц.  $\text{H}_2\text{SO}_4$

### Питання для самоконтролю

1. Що таке фотосинтез?
2. Що виявляється вихідними і кінцевими продуктами фотосинтезу?
3. Які процеси проходять в світловій фазі фотосинтезу?
4. Які процеси проходять в темновій фазі фотосинтезу?
5. Яка роль фотосинтезу?
6. Що означає термін фотоліз води?

### Лабораторна робота №8

#### Визначення інтенсивності дихання пророслого насіння в закритій посудині

**Мета роботи:** Ознайомитись з методом визначення кількості вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), який виділяє насіння при диханні.

#### Основні поняття

**Дихання** – це складний фізіологічний процес, який є інтегральним показником метаболізму рослин. Зерна для підтримки життя отримують необхідну їм енергію в процесі дисиміляції запасних органічних речовин, головним чином цукрів. Витрачений цукор поповнюється в результаті гідролізу крохмалю або окислення жирів. Дисиміляція цукрів може відбуватися аеробно, тобто окисленням, або анаеробно.

Аеробний процес дисиміляції (процес протилежний фотосинтезу) відбувається при аеробному диханні, коли спостерігається повне окислення гексози (глюкози) із вихідних продуктів фотосинтезу - діоксиду вуглецю і води:



При анаеробному диханні йде анаеробна дисиміляція, яка представляє собою спиртове бродіння, при цьому гексоз розщеплюється з утворенням етилового спирту. При



достатньому доступі повітря в зерні переважає процес аеробного дихання.

Визначити тип дихання можна за допомогою дихального коефіцієнту  $ДК = \text{CO}_2:\text{O}_2$ . При повністю аеробному диханні  $ДК=1$ . При анаеробних процесах збільшується кількість діоксиду вуглецю.

Якщо частина кисню насіння витрачають не тільки на дихання, але й на інші потреби, наприклад на окислення жирів, дихальний коефіцієнт менше одиниці. Це характерно для насіння олійних культур.

Величина дихального коефіцієнта у зерна злакових і насіння бобових культур при зберіганні завжди більше одиниці при низькій вологості зерна, наближається до одиниці у зерна вологістю 16 - 17% і менше одиниці при вологості більше 17%. В результаті дисиміляції в зернах відбуваються такі зміни, як втрата маси сухих речовин зерна, збільшення гігроскопічної вологи в зерні і підвищення вологості повітря міжзернових просторів, зміна складу повітря міжзернових просторів, виділення тепла. Вода, що виділяється при подиху, утримується зерном. В результаті збільшується його вологість, що призводить до більш інтенсивного газообміну і створює умови для розвитку мікроорганізмів.

Проростання насіння супроводжується інтенсивним диханням зерна, значним виділенням енергії, великими втратами сухих речовин (іноді до 45-47%).

В результаті дихання зерна виділяється також діоксид вуглецю. Якщо при зберіганні зерно не перемішують, то діоксид вуглецю затримується в міжзернових просторах. У зерновій масі створюються умови, що змушують живі організми переходити на анаеробний тип дихання. Продукт анаеробного дихання - етиловий спирт. Він гнітюче діє на функції клітин і призводить до втрати життєздатності зерна.

Метод визначення кількості  $\text{CO}_2$ , який виділяє проросле насіння при диханні, оснований на здатності гідроксиду натрію ( $\text{NaOH}$ ) поглинати вуглекислий газ:



Надлишок гідроксиду натрію, який не прореагував з  $\text{CO}_2$ , відтитровують соляною кислотою в присутності фенолфталеїну.



Закінчують титрування в момент переходу малинового кольору фенолфталеїну до слабо-рожевого, який надалі повністю знебарвлюється від однієї краплі кислоти.

Слід пам'ятати, що розчин  $\text{NaOH}$  залишати відкритим не слід, так як він легко поглинає  $\text{CO}_2$  з повітря, розкладаючись при цьому.

### Хід роботи

1. В марлевий мішечок поміщаємо 4 г пророслого насіння пшениці.
2. В дві конічні колби на 100 мл наливаємо за допомогою бюретки по 29 мл 0,1н  $\text{NaOH}$  і швиденько закриваємо колби пробками.
3. В одну колбу підвішуємо на гачок мішечок з пророслим насінням і швиденько закриваємо (рис. 8.1).

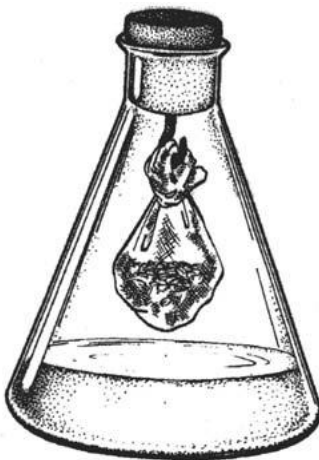


Рис. 8.1 Колба для визначення інтенсивності дихання

4. Другу колбу залишаємо для контролю, щоб виключити  $\text{CO}_2$ , який є в повітрі.

5. Обидві колби витримуємо 1 год. при кімнатній температурі ( $18-20^\circ\text{C}$ ), а також визначаємо інтенсивність дихання насіння при  $30^\circ\text{C}$ .

6. На протязі досліду періодично обережно покачуємо обидві колби, щоб зруйнувати плівку  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , яка утворюється на поверхні розчину і заважає поглинанню  $\text{CO}_2$ .

7. Коли 1 год. досліду закінчилась, виймаємо з колби мішечок з насінням, додаємо до розчину три краплі фенолфталеїну і титруємо 0,1  $\text{HCl}$  до слабо рожевого кольору, який повністю надалі знебарвлюється від однієї краплі кислоти.

8. Таким же чином титруємо і контрольну колбу.

Інтенсивність дихання,  $\text{mg CO}_2$  на 1 г сухого насіння за 1 год. вираховуємо по формулі:

$$C = \frac{(a - b) \cdot k \cdot 2,2}{n}, \quad (8.1)$$

де  $a$  і  $b$  – кількість 0,1н  $\text{HCl}$ , яка пішла на титрування 0,1н  $\text{NaOH}$  відповідно контрольної і дослідної колб;  $k$  – поправка до титру 0,1 розчину  $\text{HCl}$ ; 2,2 – кількість  $\text{CO}_2$ ,  $\text{mg}$ , яка відповідає 1 мл 0,1н  $\text{HCl}$ ;  $n$  – маса насіння.

Результати досліду записують у формі таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Визначення інтенсивності дихання

Температура, $^\circ\text{C}$	Вага насіння, г	Об'єм 0,1н $\text{NaOH}$ розлитого в колби, мл	Кількість 0,1н $\text{HCl}$ . яка пішла на титрування, мл		Інтенсивність дихання, $\text{mgCO}_2/\text{г}/\text{год.}$
			дослід	контроль	
18-20					
30					

### Питання для самоконтролю

1. Чому проросле насіння дихає? Чим відрізняється процес фотосинтезу від процесу дихання?

2. Що утворюється при диханні, крім  $\text{CO}_2$ ?
3. Як та з якою метою визначається дихальний коефіцієнт?
4. Що відбувається в процесі аеробного дихання насіння?

### **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Воцехівська О. В., Капустян А. В., Косик О. В. та ін. Фізіологія рослин : практикум. За аг. ред. Т. В. Паршикової. Луцьк : Терен, 2010. 420 с.
2. Клименко М. О., Бедункова О. О. Біологія. Лабораторни практикум : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2014. 83 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/4486/> (дата звернення 10.03.2020 р.).
3. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник. Фітосоціоцентр, 2001. 392 с.
4. Мусієнко М. М. Фотосинтез. Київ : Вища школа, 1995. 247 с.
5. Слюсарєв А. О., Самсонов О. В., Мухін В. М. та ін. Біологія : навч. посіб. За ред. та пер. з рос. В. О. Мотузного. 9-ге вид., стер. Київ : Вища школа, 2007. 622 с.
6. Шуст І. В., Грубінко В. В., Страшнюк Н. М. Цитологія : навч. посіб. Тернопіль : Підручники і посібники, 2007. 128 с.